

【論文】

富山県選抜スギ品種「座主坊」を交配親とする エリート無花粉スギ候補木の作出

斎藤真己

Creation of elite pollen-free cedar candidate trees using Toyama Prefecture's selected cedar variety
"Zassunbo" as a breeding parent

Maki SAITO

遺伝的に多様な無花粉スギ品種を開発するため、雄性不稔遺伝子をヘテロ型 (Aa) で保有する富山県選抜品種の「座主坊」を交配親とした2種類（「座主坊」 (Aa) × 「珠洲2号」 (Aa)、
「無花粉スギ母樹」 (aa) × 「座主坊」 (Aa)）の交配家系を育成し、既存の無花粉スギ品種
である「立山 森の輝き」と成長量などの比較調査を行った。10年次の樹高成長と立木応力波伝
播速度の調査結果から、これら3者を集団間で比較すると大きな差は認められなかったが、個
体別でみると樹高成長と立木応力波伝播速度共に「立山 森の輝き」の平均値を上回った個体が
「座主坊」×「珠洲2号」の中から8個体、「無花粉スギ母樹」×「座主坊」の中から4個体
選抜することができた。これらは遺伝的に優良である可能性が高く、「立山 森の輝き」を上回
るエリート無花粉スギ候補木になると期待された。

キーワード：花粉症対策・無花粉スギ・雄性不稔遺伝子・品種改良

1. はじめに

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) は、成長が早く、木材としての利用価値も高いことなどから、日本の林業において重要な造林樹種である。しかしながら、近年、スギ花粉症が社会問題になっていることから、できるだけ花粉を放出しないスギ品種の開発が強く求められるようになった (斎藤 2010)。このような中で、平ら (1993) は無花粉になるスギの雄性不稔個体を発見し、この性質は一对の劣性 (潜性) 遺伝子によって支配されていることを明らかにした (Taira *et al.* 1999)。無花粉になる遺伝子を「 a 」、有花粉の遺伝子を「 A 」とすると、「 aa 」を保有する個体は無花粉となり、「 AA 」もしくは「 Aa 」を保有する個体は有花粉となる。その後、Saito and Taira (2005) は、富山県の精英樹の中からこの遺伝子をヘテロ型 (Aa) で保有したクローン「小原 13 号」を選抜し、さらに、石川県の「珠洲 2 号」、神奈川県の中 4 号」、静岡県の「大井 7 号」も雄性不稔遺伝子をヘ

テロ型 (Aa) で保有する精英樹であることを明らかにした (斎藤・平 2005, 平 2006)。精英樹は生長や樹形、材質など優れた特徴を持っていることから、富山県は「小原 13 号」と「珠洲 2 号 (Aa)」を交配親として活用し優良無花粉スギ「立山 森の輝き」を開発した (斎藤 2010, 斎藤・寺西 2014)。この品種は2種類の精英樹を交配親としているため、遺伝的に優良であることが期待される。この品種の生育特性を把握するため、富山県の既存品種であるタテヤマスギやマスヤマスギと混植した検定林を造成し生育調査をしているが、初期成長・材の強度ともに「立山 森の輝き」の方が優れており、さらに雪害による枯損率や幹折れ率も既存品種と比較して同等以上という結果が得られている (富山県 2023)。

現在 (2023 年)、富山県で植栽されているスギはすべて「立山 森の輝き」であり、年間 8 万本程度の植栽が行われているが、最近、

夏季の猛暑や突発的な大雪など異常気象が頻発しており、さらに病虫害等に対するリスク分散を考慮すると、できるだけ多様な品種の活用が望ましい。その際には、新たな雄性不稔遺伝子を保有したスギ品種や精英樹などが必要になる。これまでの研究で富山県は多雪地域の中から独自に選抜した富山県選抜品種の「座主坊」が雄性不稔遺伝子をヘテロ型 (Aa) で保有していることを明らかにした (斎藤ら 2015)。本品種は富山県の主要なさし木品種と比較して、成長が極めて速く、材の強度を示す樹幹ヤング率が高い、冠雪害の被害率が低いなど林業上、優れた特性を保持している。このことから、本品種は 2021 年に「優良品種・技術評価委員会」において優良ヘテロ (Aa) 品種 (花粉症対策品種) として認定された (富山県 2023)。

以上のことから、本研究では「座主坊」を交配親として活用し、成長量や材質などで「立山 森の輝き」を上回るようなエリート無花粉スギ品種候補木の選抜を目的とした。

2. 材料および方法

2.1 交配家系の作出

「座主坊」を交配親とする新たな無花粉スギの交配家系を育成するため、2010 年 3 月に「座主坊」(Aa) × 「珠洲 2 号」(Aa) と「無花粉スギ母樹」(aa) × 「座主坊」(Aa) の交配を行った。「無花粉スギ母樹」は、全国で初めて富山県で発見された無花粉スギである (平ら 1993)。比較対象として、現在、富山県で植栽されている無花粉スギ品種の「立山 森の輝き」を用いた。

2010 年 10 月上旬に球果を採取した後、室内で自然乾燥させて種子を得た。種子は、4℃で約 2 ヶ月間保存した。発芽調査はシャーレの中にろ紙を敷き、蒸留水で浸して種子 100 粒を置床した。23℃に設定した人工気象器 (日本医化器械製作所 NC-350S) で保温し、約 50 日間発芽を調査した。発芽率調査の反復はそれぞれ 3 回とした。

2.2 交配家系の育成および無花粉苗の選抜

上記 3 家系の無花粉個体を選抜するため、2011 年 4 月に富山県森林研所のガラス室で 200 穴セルトレーに播種した後、1 年間育苗した。2012 年 4 月にこれらの苗を苗畑に移植した後、同年 7 月上旬と中旬にジベレリン水溶液 (100ppm) を散布して着花を誘導した。同年 12 月に各個体から雄花を採取し、スライ

ドガラス上で砕いて顕微鏡下で花粉の有無について調査した。

2.3 検定林の造成

「座主坊」との交配家系の特性を評価するため、2013 年 4 月に富山県森林研究所の構内に検定林 (標高 230m の平坦地) を造成した。各家系の植栽本数は表 1 のとおりである。ここでは、3 家系がランダムに配置されており、1ha あたり 2,500 本の密度で植栽した。その後、雪害によって幹が曲がった個体や生育不良の個体は適宜、伐採した。

2.4 生育調査

各家系の生育特性を把握するため、植栽翌年 (2014 年 4 月) の活着率、10 年次 (2023 年 10 月) の樹高と胸高直径について調査した。樹高はレーザー距離計のトゥルーパルス (阪神交易) を用いて計測した。胸高直径は地際より 1.2m の高さにおいて「直径巻尺」を用いて mm 単位で計測した。

統計処理はエクセル統計 (Bell Curve) を用いて、Tukey-Kramer の多重比較を行った。

2.5 立木応力波伝播速度の比較調査

各家系の材質特性を比較するため、2023 年 10 月 (10 年次) に生育調査を行った個体の応力波伝播速度 (立木 V_p) を FAKOPP (Fakopp Enterprise) を用いて計測した (図 1A)。スタートセンサーは地上高約 1.5m、ストップセンサーは地上高約 0.5m の位置で取り付け (両センサー間の距離 1.0m) (図 1B)。計測は 5 回行い、その平均値から応力波伝播速度を算出した。

統計処理はエクセル統計 (Bell Curve) を用いて、Tukey-Kramer の多重比較を行った。

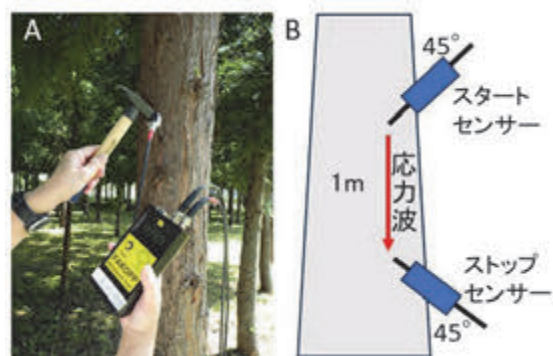


図 1 Fakopp を用いた応力波伝播速度の計測法
A: センサーを幹に打ち込んだ後、金属製のハンマーでスタートセンサーを軽くたたいた。この時、発生した応力波をストップセンサーで計測する。
B: Fakopp のセット方法

3. 結果

3.1 「座主坊」を交配親とする種子発芽率

「座主坊」を交配親として活用した種子の平均発芽率について調査した結果、「座主坊」×「珠洲2号」は53.5%、「無花粉スギ母樹」×「座主坊」は48.6%となり、「立山 森の輝き」(50.4%)と大きな差は認められなかった(表1)。

このことから、新たな無花粉スギ品種の開発に向けて、「座主坊」を交配親として活用しても問題ないと判断された。

3.2 「座主坊」を交配親とする無花粉スギ交配家系の成長量

検定林で10年次の生育調査を行った結果、樹高は、「座主坊」×「珠洲2号」が12.2±1.4m、「無花粉スギ母樹」×「座主坊」は11.8±1.2m、「立山 森の輝き」は12.0±1.6mとなり、これら間で有意な差は認められなかった(図2)。胸高直径は、「座主坊」×「珠洲2号」(17.4±3.0cm)と「無花粉スギ母樹」×「座主坊」(16.4±1.2cm)が「立山 森の輝き」(18.6±2.4cm)より有意に小さかった(図3)。

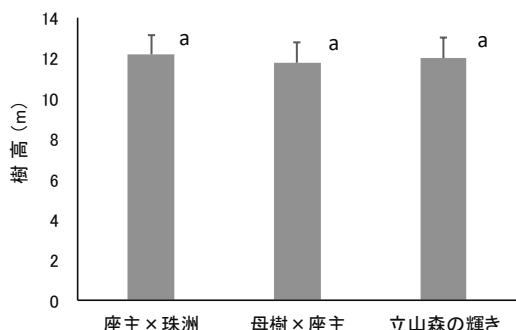
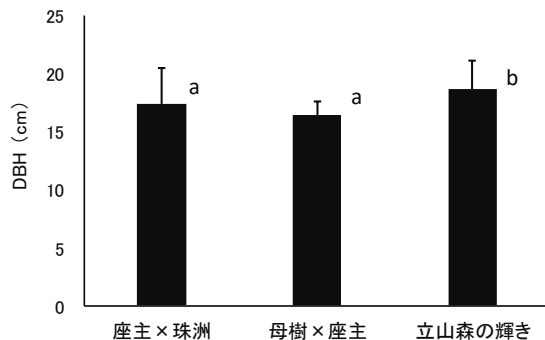


図2 「座主坊」を交配親とする無花粉スギ交配家系と「立山 森の輝き」の樹高成長の比較

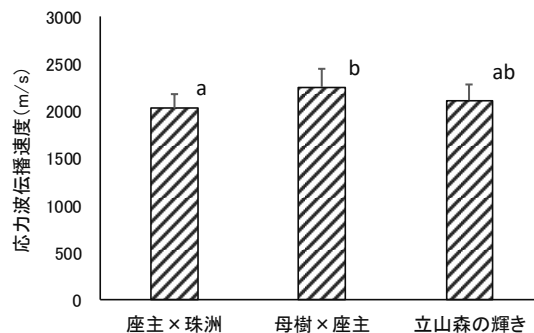


* 異なるアルファベット間は5%水準で有意差あり

図3 「座主坊」を交配親とする無花粉スギ家系と「立山 森の輝き」の胸高直径の比較

3.3 座主坊」を交配親とする無花粉スギ交配家系の応力波伝播速度

10年次の立木 V_p の値は、「無花粉スギ母樹」×「座主坊」(2253.8±188.7 m/s)が最も高く、次いで「立山 森の輝き」(2112.8±169.4 m/s)、「座主坊」×「珠洲2号」(2029.9±144.6 m/s)の順となり、2家系ともに「立山 森の輝き」との間では有意差が認められなかった(図4)。



* 異なるアルファベット間は5%水準で有意差あり

図4 「座主坊」を交配親とする無花粉スギ交配家系と「立山 森の輝き」の立木応力波伝播速度の比較

表1 無花粉スギ交配家系の発芽率と育成本数

交配家系	発芽率(%)	植栽本数	活着率(%)	優良個体数*	間伐率(%)
座主坊×珠洲2	53.5	104	95.2	46	53.5
無花粉スギ母樹×座主坊	48.6	24	100	8	66.7
立山 森の輝き	50.4	110	100	63	42.7

* 10年次に幹が通直で生育が良好だった個体

3.4 「座主坊」を交配親とする優良個体の選抜

10年次の樹高成長と立木 V_p の調査結果から、両者共に「立山 森の輝き」の平均値を上回った個体を「座主坊」×「珠洲2号」の交配家系の中から8個体、「無花粉スギ母樹」×「座主坊」の交配家系の中から4個体、選抜した(図5, 6)。

3.5 「座主坊」を交配親とする選抜集団と「立山 森の輝き」の比較

本研究によって選抜された「座主坊」×「珠洲2号」の8個体と「無花粉スギ母樹」×「座主坊」の4個体の2家系の平均値と「立山 森の輝き」の平均値を比較した結果、樹高と応力波伝播速度は、2家系共に「立山 森の輝き」の平均値を上回ったものの、胸高直径に関しては2家系とも1cm程度、小さかった(表2)。

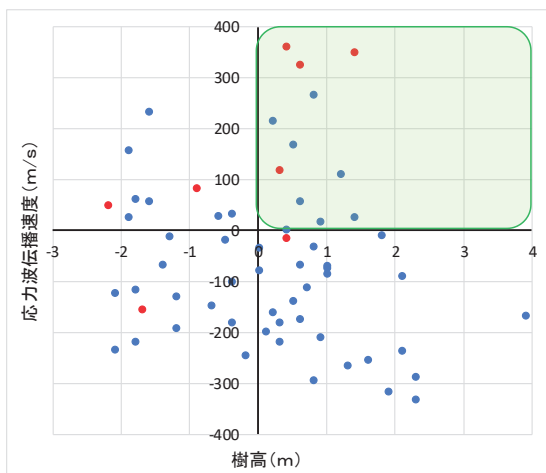


図5 「立山 森の輝き」の樹高と立木応力波伝播速度の平均値を基準とした「座主坊」×「珠洲2号」と「無花粉スギ母樹」×「座主坊」の散布図

(青点—「座主坊」×「珠洲2号」、赤点—「無花粉スギ母樹」×「座主坊」)

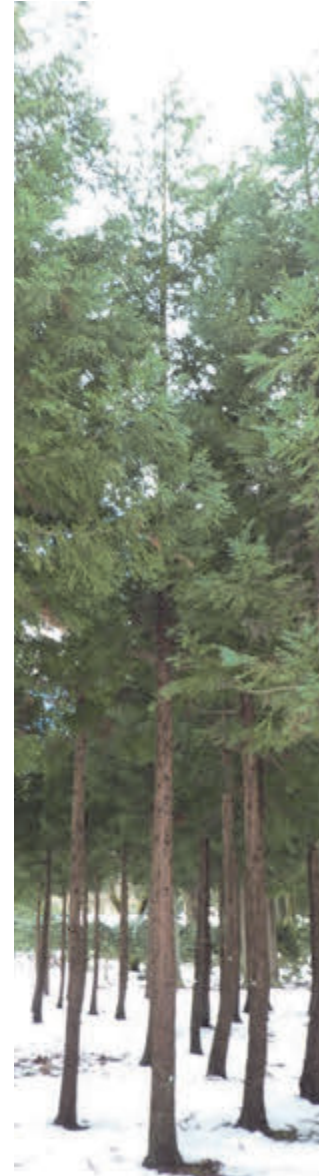


図6 選抜された「座主坊」×「珠洲2号」の優良個体

表2 座主坊を交配親とする選抜集団と「立山 森の輝き」の成長等の比較

交配家系 (選抜個体)	「立山 森の輝き」の平均値との差		
	樹高(m)	胸高直径(cm)	応力波伝播速度(m/s)
座主坊×珠洲2	0.8	-1.0	108.3
無花粉スギ母樹×座主坊	0.7	-1.1	289.5

4. 考 察

本研究で交配親とした活用した「座主坊」は、前述したとおり成長が早く、これまでの調査で富山県のさし木品種であるボカスギを上回ることが明らかにされている(斎藤ら 2015)。ボカスギは、30年程度で収穫する短伐期施業が可能に成長が早い品種であり(平 1979)、森林総合研究所・林木育種センター関西育種場が作成したスギ・ヒノキ精英樹特性表でも20年次の調査で、樹高成長は5段階評価で「4」(優れる)、胸高直径は「5」(非常に優れる)と評価されている(精英樹名は石動1号および3号)。これらのことから、ボカスギ以上に成長する「座主坊」は極めて成長が早いと言えるため、この品種を交配親にした無花粉スギの家系は「立山森の輝き」を上回る樹高成長量になると期待されたが、「立山森の輝き」と比較して差は認められなかった。この要因として、①「立山森の輝き」も2種類の精英樹を交配親とする優良家系であること、②「座主坊」×「珠洲2号」は「立山森の輝き」と花粉親が同じであること、③「無花粉スギ母樹」×「座主坊」は、「無花粉スギ母樹」が成長量の大きいスギではなかったこと、④各家系から樹高成長量が大きく幹が通直な優良個体の選抜を目的としていたため、植栽から10年生に至るまでに42.7~66.7%の強度間伐を行って優良個体のみを残したことから集団間の差が出にくくなったこと(表1)などが考えられた。また、胸高直径に関しては「立山森の輝き」を下回る結果になったが、これも樹高成長と同様の理由によるものと考えられた。

FAKOPPを用いて測定した立木の応力波伝播速度と木材の強度を示す曲げヤング率との間には、正の相関があることがスギ(宮下ら 2009)やヒノキ(池田 2008)で明らかにされているため、本研究ではこの立木 V_p を木材の強度の指標とした。3家系で比較した結果、「座主坊」×「珠洲2号」や「無花粉スギ母樹」×「座主坊」の2家系は「立山森の輝き」と比較して、統計上、有意差なしという結果になったが、この要因も成長量と同様に「立山森の輝き」が精英樹を交配親とする優良家系であることに起因している

と考えられた。

家系の集団間で比較すると「立山森の輝き」を上回るような結果にはならなかったが、個体別で比較すると、10年次の評価で樹高成長量と立木 V_p が共に「立山森の輝き」の平均値を上回る12個体(「座主坊」×「珠洲2号」-8個体、「無花粉スギ母樹」×「座主坊」-4個体)を選抜することができた。これまでの精英樹選抜育種事業で明らかにされているとおり、成長量(Takahashi et al. 2023)やヤング率(栗延 1992, 藤澤ら 2000)は遺伝率が高いことから、本研究で選抜した個体も樹高成長や材質特性で「立山森の輝き」を上回るエリート無花粉スギ品種の候補木になる可能性が高いと考えられる。一方、胸高直径に関しては選抜集団(2家系)でも「立山森の輝き」の平均値を下回った。この原因が遺伝的な性質によるものなのか、それとも立地条件などの環境によるものなのかについて、今後、これらのさし木苗で検定林を造成し、確認する必要がある。

2026年から富山県の無花粉スギ品種の苗木生産は、現行の実生苗からさし木苗に切り替わる計画であるため、本研究で選抜された個体もさし木によってクローン増殖し、採穂園に導入する予定である。そのため、今後はこれらのさし木の発根性について調査し、採穂木としての適性についても把握する必要がある。

本研究とは別の2箇所検定林(2010年に造成)においても、「立山森の輝き」の集団の中から成長が早く、幹が通直で、立木 V_p が精英樹以上といった優良な10個体を選抜しており、これらは「立山森の輝き」1~10号として優良品種に認定された(優良品種・技術評価委員会 2021年)(富山県 2023)。現在、これらと「座主坊」を交配した10種類の F_1 家系も育成中であるため、今後、同様の方法で調査を進めることによって新たなエリート無花粉スギ候補木が多数、作出されると期待される。

以上のことから、多様な無花粉スギ品種の開発を進めるためには、無花粉の性質を保持し、さらに林業上、有用な形質を持った多数の交配家系の育成は重要であり、今後も継続して調査を行う必要があると考えられた。

5. 謝 辞

本研究を実施するにあたり、富山県婦負森林組合の小西 直 氏には検定林の除草から除伐、間伐に至るまで多大なご協力をいただいた。ここに記して深く御礼を申し上げる。

引用文献

- 藤澤義武・田淵和夫・中田了五・谷口 亨 (2000) 18年生のスギ精英樹交配家系における丸太樹幹ヤング率の組み合わせ能力の推定. 育林研報 17: 95-108
- 池田潔彦 (2008) スギ, ヒノキ人工林の間伐や植栽密度の違いが立木ヤング率に及ぼす影響. 静岡農林技研報 1: 93-99
- 栗延 晋 (1992) 次代検定林における精英樹の材質- 所要調査量と選抜効果の試算-. 林木の育種 164: 17-20
- 宮下久哉・織田春紀・半田孝俊 (2009) 若齢時におけるスギクローンの材質評価. 木材学会誌 55: 136-145
- Saito M, Taira H. (2005) Plus tree of *Cryptomeria japonica* D. Don with a heterozygous male-sterility gene. J For Res 10: 391-394
- 斎藤真己・平 英彰 (2005) 実用化に向けた雄性不稔スギの遺伝的改良. 林木の育種 216: 19-20
- 斎藤真己 (2010) スギ花粉症対策品種の開発. 日林誌 92: 316-323
- 斎藤真己・寺西秀豊 (2014) 無花粉(雄性不稔)スギ品種の開発. 花粉誌 60: 27-35
- 斎藤真己・相浦英春・嘉戸昭夫・松浦崇遠 (2015) 雄性不稔遺伝子を保有する富山県選抜スギさし木品種「座主坊」の特徴. 森林遺伝育種学会誌 4: 45-51
- 平 英彰 (1979) 富山県のスギさし木品種. 富山林試研報 5: 1-66
- 平 英彰・寺西秀豊・剣田幸子 (1993) スギの雄性不稔個体について. 日林誌 75: 377-379
- Taira H, Saito M, Furuta Y. (1999) Inheritance of the trait of male sterility in *Cryptomeria japonica*. J For Res 4: 271-273
- 平 英彰 (2006) スギ花粉症を取り巻く諸問題ースギ雄性不稔個体の利用と開発ー. 林木の育種 220: 1-3
- Takahashi M, Miura M, Fukatsu E, Hiraoka Y, Kurita M (2023) Research and project activities for breeding of *Cryptomeria japonica* D. Don in Japan. Journal of Forest Research 28: 83-97
- 富山県農林水産総合技術センター森林研究所ホームページ
https://taffrc.pref.toyama.jp/nsgc/shinrin/link_fl at.phtml?TGenre_ID=326&t=blog2 (2023年8月10日 アクセス)

Summary

To develop genetically diverse pollen-free cedar varieties, we used Toyama Prefecture's selected variety "Zassunbo," which carries the male sterility gene in a heterozygous form (Aa), as a breeding parent and created two crossbred lines ("Zassunbo" [Aa] × "Suzu No. 2" [Aa]; "pollen-free cedar mother tree" [aa] × "Zassunbo" [Aa]). We then conducted a comparative survey with the existing pollen-free cedar variety "Tateyama Mori no Kagayaki." Based on the survey results of 10-year growth in tree height and propagation speed of stress waves in standing trees, no major differences were observed when these three groups were compared as populations. However, when viewed individually, eight individuals of "Zassunbo" × "Suzu No. 2" and four individuals of "pollen-free cedar mother tree" × "Zassunbo" were screened as having exceeded the mean values exhibited by "Tateyama Mori no Kagayaki" in both tree height and velocity of standing tree stress wave propagation. These trees are highly likely to be genetically superior and were expected to have the potential to become elite pollen-free cedar candidate trees, surpassing even "Tateyama Mori no Kagayaki."

Keywords : *Cryptomeria japonica* D. Don • male-sterility gene • pollinosis preventive cultivar • new varieties